Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Winter 2024, p. 949-962

Study the Effects of Salicylic Acid and γ-Aminobutyric Acid on Some Physiological Characteristics of Seedling and Yield of *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran

N. Zeinali Pour [1*], F. Aghebati [2], B. Nejhad Shahrokh Abadi [2]

1 and 2- Assistant Professor and M.Sc Graduated, Department of Horticultural Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: nzeinali@uk.ac.ir)

Received: 08-12-2022 Revised: 20-01-2023 Accepted: 25-01-2023 Available Online: 28-01-2023	**How to cite this article:** Zeinali Pour, N., Aghebati, F., & Nejhad Shahrokh Abadi, B. (2024). Study the effects of salicylic acid and γ-aminobutyric acid on some physiological characteristics of seedling and yield of *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran. *Journal of Horticultural Science, 37*(4), 949-962. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79509.1208

Introduction

Recently, the market demand for high quality tomato fruit is increasing. This product is one of the most important vegetables produced all over the world, and in the last few decades, there has always been a growing trend for its production and consumption. Today, seedling production is considered as a specialized and profitable industry all over the world, which also has a good development speed in our country. The production of healthy and strong seedlings is a prerequisite for proper plant growth and economic production, and nutrition plays an important role in this. Today, the use of natural and organic compounds in various sectors of production and agriculture is increasing. One of these organic compounds, is γ-aminobutyric acid. Biofertilizers are used in order to reduce the consumption of chemical fertilizers and thus reduce the negative environmental effects and increase the yield of plants in agricultural systems. Salicylic acid is a natural phenolic compound and one of the endogenous plant regulators that exists in most plants and is an important component in the signaling pathway. Salicylic acid is effective in regulating the process of plant growth and development, germination, flowering, opening and closing of stomata, respiration, absorption and transfer of ions, photosynthesis, maintaining membrane integrity and plant growth rate. The objective of this study was to examine the influence of varying concentrations of γ-aminobutyric acid and salicylic acid compounds on the physiological attributes, photosynthetic components, and quality traits of Lycopersicum esculentum cv. Seyran seedlings. The aim was to identify the most effective concentration of these hormonal and pseudo-hormonal compounds under the specific conditions of this research.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 2017 in the research greenhouse of Shahid Bahonar University of Kerman as a factorial in a completely randomized design with three replications. *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran seeds were planted and after the seedlings reached the stage of three to four leaves and were well established, the first foliar spraying was done with complete NPK fertilizer containing other micronutrients. After 75 % of the seedlings reached the five leaf stage, foliar spraying of the treatments with γ-aminobutyric acid with concentrations of 0, 5 and 10 mg/l and half an hour later with salicylic acid with concentrations of 0, 0.5 and 1.5 mM was performed. After 15 days, the second foliar spraying steps of the treatments were repeated. Traits

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80053.1215

studied include; seedling stem diameter, ion leakage, relative water content, total chlorophyll, yield, stomatal conductance, net photosynthesis rate, catalase, peroxidase, proline and malondialdehyde.

Results and Discussion

Based on the results of analysis of variance, the simple effect of GABA and the simple effect of salicylic acid on seedling diameter, ion leakage and total chlorophyll were significant at the level of one percent and their interaction was significant at the level of five percent. In the characteristics of relative water content and yield, the simple effects of GABA and salicylic acid, as well as the interaction of the two, were significant at the 1% level (Table 1). Results showed that the largest plant diameter and relative water content in GABA 10 mg/l and with the combined use of 1.5 mM salicylic acid and the lowest plant diameter and relative water content in the condition of not using GABA and using salicylic acid in the amount 0.5 mM was obtained. Also, the highest amount of ion leakage occurred in the control plants and the lowest amount of ion leakage is related to the treatment of 10 mg/l GABA combined with 1.5 mM salicylic acid. Investigations showed that a increase in performance compared to the control occurs when using the combination of GABA 10 mg/l along with 0.5 and 1.5 mM salicylic acid (Table 3). According to the analysis of variance results, both the individual effects of γ-aminobutyric acid (GABA) and salicylic acid on leaf stomatal conductance and net photosynthesis rate were found to be significant at the one percent level, with their interaction being significant at the five percent level. Furthermore, the analysis revealed that the individual and combined effects of GABA and salicylic acid on catalase enzyme activity were significant at the five percent level. Additionally, the individual effect of GABA at the one percent level, the individual effect of salicylic acid, and their combined effect on malondialdehyde levels were all significant at the five percent level (refer to Table 2). According to the average comparison results, the highest level of leaf stomatal conductance was observed in the concentration of 1.5 mM salicylic acid in all three application levels of GABA, and the interaction treatment of 10 mg/l GABA with 1.5 mM salicylic acid had the highest net photosynthesis rate and activity of catalase and peroxidase enzymes. The highest amount of proline accumulation occurred in the treatment combination of GABA 10 mg/l along with each of the three concentrations of salicylic acid. The highest accumulation of malondialdehyde was observed in the control sample (without the use of γ-aminobutyric acid and salicylic acid) and the lowest amount of this characteristic was obtained in the combined treatment of GABA 10 mg/l with 0.5 mM salicylic acid (Table 4).

Conclusion

In summary, the utilization of γ-aminobutyric acid as a biological compound and salicylic acid as a growth regulator exhibited a beneficial impact on most of the studied traits in Lycopersicum esculentum cv. Seyran seedlings. This included enhancements in seedling diameter, relative water content, total chlorophyll levels, yield, catalase and peroxidase enzyme activity, proline content, as well as reductions in ion leakage and malondialdehyde levels. It appears that the highest applied concentration of GABA (10 mg/l) and the highest concentration of salicylic acid (1.5 mM) yielded the most favorable results, effectively improving seedling production while preserving its quality.

Keywords: γ-aminobutyric acid, Foliar application, Net photosynthesis rate, Proline

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص. ٩٦٢-٩٤٩

مطالعه اثرات سالیسیلیک اسید و گابا بر خصوصیات فیزیولوژیکی نشاء و عملکرد گوجه‌فرنگی رقم ’سیران‘ (*Lycopersicum esculentum* cv. Seyran)

نجمه زینلی‌پور[1*] - فاطمه عاقبتی[2] - بهاره نژاد شاهرخ آبادی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید و گاما آمینوبوتیریک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشـاء گوجـه فرنگـی رقـم ’سیران‘ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفـت. در ایـن پـژوهش گامـا آمینوبوتیریک اسید (گابا) به عنوان عامل اول با سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) و اسید سالیسیلیک به‌عنوان عامل دوم با سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار) به‌صورت محلول‌پاشی برگی مورد استفاده قرار گرفتند و صفاتی نظیر؛ قطر ساقه نشاء، نشت یونی، محتوای نسبی آب، کلروفیـل کـل، عملکرد، هدایت روزنه‌ای، نرخ فتوسنتز خالص، کاتالاز، پراکسیداز، پرولین و مالون‌دی‌آلدئید اندازه‌گیری شدند. گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتـر در ترکیـب بـا سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار سبب افزایش قطر ساقه نشاء، محتوای نسبی آب، نرخ فتوسنتز خالص، میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد. هم‌چنین این تیمار سبب کاهش سه برابری نشت یونی در مقایسه با شاهد گردید. هم‌چنین گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بـه همـراه دو غلظـت کـاربردی سالیسیلیک اسید در این پژوهش (۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار)، میزان کلروفیل کل و عملکرد را تا حدود دو برابر نمونه‌های شاهد افزایش داد. هدایت روزنه‌ای نیز در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در تمام سطوح پیشنهادی گابا در بهترین میزان بود. بالاترین مقدار تجمع پرولین در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر گابا در تمامی غلظت‌های کاربردی سالیسیلیک اسید رخ داد. مجموع نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در اغلب صفات کاربرد غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا) و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در بهبود صفات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشـیمیایی موجـود در نشاء گوجه فرنگی مؤثرتر واقع شد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، گاما آمینوبوتیریک اسید، محلول‌پاشی برگی، نرخ فتوسنتز خالص

مقدمه

گوجه فرنگی با نام علمی *Lycopersicum esculentum* از تیره سیب زمینی سانان (Solanaceae) است. در حال حاضر تقاضای بازار برای میوه گوجه‌فرنگی با کیفیـت بـالا در حـال افـزایش اسـت (De Oliveira Silva *et al*., 2018). گوجه فرنگی با تولید ۱۸۶ میلیـون تن در سال یکی از محبوب‌ترین و پرمصرف‌ترین محصـولات سـبزی در جهان اسـت (FAO, 2020). ایـن محصـول یکـی از مهـم‌تـرین سبزی‌های تولیدی در سراسر جهان می‌باشد کـه در چنـد دهـه اخیـر همواره روند رو به رشدی برای تولید و مصرف آن وجود داشته اسـت. گوجه فرنگی به دلیل کالری کم، غنـی بـودن از آهـن، ویتـامین‌هـا و برخی آنتی‌اکسیدان‌ها در سراسر دنیا مورد مصرف قرار می‌گیرد (Rai *et al*., 2013). هم‌چنین به عنوان یـک داروی طبیعـی بـرای حفـظ سلامت استخوان‌ها، کاهش خطـر ابـتلا بـه سـرطان‌هـای مختلـف، بیماری‌های قلبی و عروقی، دیابت نوع دوم و بیماری عصـبی در نظـر گرفته می‌شود (Pinela *et al*., 2016؛ Nakamura *et al*., 2017).

در بسیاری از نقاط جهان، نشاکاری در کشت گوجه فرنگی روش مرسوم است و مدت زمان پرورش نشاء، بسته به فصول مختلف سال تحت تأثیر نور، دما، تغذیه گیاه و به طور کلی اندازه نشاء، بین سه تا پنج هفته می‌تواند متفاوت باشد (Peyvast, 2009). تغذیه صحیح گیاه می‌تواند منجر به بهبود کمی و کیفی محصول گردد. در کنار

---

۱ و ۲- به‌ترتیب استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: nzeinali@uk.ac.ir)

عوامل محیطی مانند نور و دما، تغذیه گیاهان از فاکتورهای مهم و مؤثر بر کیفیت نشاء به شمار می‌آید. از این نظر، استفاده مناسب از کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به بهبود رشد، عملکرد و کیفیت نشاهای تولیدی گردد (Ghanbari *et al*., 2021). امروزه تولید نشاء به‌عنوان یک صنعت تخصصی و پر سود در سراسر دنیا مطرح است که تولید نشاهای سالم و قوی پیش نیاز رشد مناسب گیاه و تولید اقتصادی است. تولید گلخانه‌ای سبزی‌ها و همچنین تولید نشاء سبزی‌ها به‌عنوان فعالیت‌های کاملا تخصصی، نقش مهمی در تولید و اقتصاد سبزی‌کاری دارند. تخصصی کردن فعالیت‌های مختلف در مسیر تولید سبزی‌ها باعث ساده شدن فرایند تولید و افزایش راندمان خواهد شد. این بدان معنا است که در دوران پرورش نشاء بایستی بهترین شرایط لازم برای رشد گیاهچه‌ها را فراهم نمود. در پرورش نشاء تغذیه از طریق محلول‌پاشی می‌تواند به‌عنوان روشی جهت رسیدن به حداکثر رشد گیاه مطرح باشد (Suri & Yaqoubi, 2017).

در سال‌های اخیر توجه مصرف‌کنندگان محصولات کشاورزی در بیشتر کشورهای دنیا به کیفیت سبزیجات و میوه‌ها افزایش یافته است. از این رو موضوع کیفیت غذایی محصولات کشاورزی مورد توجه بسیاری از محققان جهان است، به خصوص از آن جهت که استفاده بی‌رویه کودهای شیمیایی از کیفیت محصولات کشاورزی می کاهد (Salimi *et al*., 2021). علاوه بر آن، افزایش روز افزون قیمت کودهای شیمیایی در جهان، ضرورت اقتصادی بودن تولید، آلودگی آب‌های زیرزمینی و تخریب ساختمان خاک در اثر مصرف بی‌رویه و ناآگاهانه کودهای شیمیایی مشکلاتی را به وجود آورده است. جستجو برای روش‌های جدید دوستدار محیط زیست به ویژه در زمینه افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی از عوامل کلیدی در کشاورزی پایدار است (Shata *et al*., 2007). کاربرد کودهای شیمیایی در ترکیب با کودهای آلی باعث حفظ تعادل مواد غذایی خاک، افزایش مواد آلی خاک، توانایی در دسترسی مواد غذایی خاک برای گیاه، بهبود حاصلخیزی خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و کاهش تلفات کودی می‌شود و می‌تواند دلیل افزایش عملکرد محصولات، تجمع ماده خشک و جذب مواد غذایی شوند (Yang *et al*., 2004). افزایش عملکرد توسط کاربرد ترکیبی کود شیمیایی و آلی توسط پژوهشگران در اسفناج (Samih *et al*., 2010) و کلم بروکلی (Ouda & Mahahadeem, 2008) گزارش شده است.

امروزه کاربرد ترکیبات طبیعی و ارگانیک در بخش‌های مختلف تولید و کشاورزی رو به افزایش است. یکی از این ترکیبات ارگانیک که دوستدار محیط زیست نیز می‌باشد، گاما آمینوبوتیریک اسید است که یک آمینو اسید چهار کربنه بوده که در طیف گسترده‌ای از موجودات مانند باکتری‌ها، گیاهان و حیوانات وجود دارد. در گیاهان اولین بار حدود ۶۰ سال پیش، گابا در غده سیب زمینی مشاهده شد و تا سال‌های زیادی نقش آن ناشناخته باقی ماند (Shelp *et al*., 2012). افزایش سریع و ناگهانی تجمع گابا در کمتر از چند دقیقه در گیاهانی که تحت تأثیر تنش‌های غیر زنده مانند؛ دمای پایین و زخم قرار می‌گیرند، یک دلیل برای نقش سیگنالینگ گابا است (Li *et al*., 2018). به منظور کاهش مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، راهکارهای بیولوژیکی از جمله کاربرد ترکیباتی مانند گاما آمینوبوتیریک اسید می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (Karlidag *et al*., 2007). کودهای زیستی به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه کاهش اثرات منفی زیست محیطی و افزایش عملکرد گیاهان در سیستم‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Abbaszadeh, 2005). از نقش‌های احتمالی گابا می‌توان به کمک به تعادل کربن به نیتروژن، رشد و هدایت دانه گرده، تنظیم pH سیتوسلی، حفاظت در مقابل تنش اکسیداتیو، جلوگیری از تجمع گونه های فعال اکسیژن در تنش‌های مختلف محیطی، مشارکت در چرخه تری‌کربوکسیلیک اسید، متابولیزم نیتروژن و تنظیم اسمزی اشاره کرد (Nayyar *et al*., 2014).

سالیسیلیک اسید (۲- هیدروکسی بنزوئیک اسید) یک ترکیب فنولی طبیعی و از تنظیم کننده‌های درون‌زای گیاهی است که در بیشتر گیاهان وجود دارد و یک جزء مهم در مسیر انتقال سیگنال‌ها به شمار می‌آید. سالیسیلیک اسید یک اسید آروماتیک می‌باشد که به صورت آزاد و به صورت متیل استر در گیاهان وجود دارد (Senaranta *et al*., 2002). سالیسیلیک اسید در تنظیم روند رشد و تکامل گیاه، جوانه‌زنی، گلدهی، تولید اتیلن، باز و بسته شدن روزنه‌ها، تنفس، جذب و انتقال یون‌ها، فتوسنتز، حفظ یکپارچگی غشاء و سرعت رشد گیاه اثرگذار است. در اکثر پژوهش‌های انجام شده مهم‌ترین عمل اسید سالیسیلیک را پاسخ و مقاومت نسبت به برخی از تنش‌ها از قبیل؛ فلزات سنگین، گرما، سرما، خشکی، شوری و بیماری‌های گیاهی بیان کرده‌اند و نشان داده شده است که تا حدود زیادی اسید سالیسیلیک با تنظیم بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث افزایش تحمل تنش در گیاهان می‌شود (Aftab *et al*., 2011).

ترکیبات اسید سالیسیلیک و گاما آمینوبوتیریک اسید در گیاهان مختلف در غلظت‌های متفاوت اثرات متنوعی ایجاد می‌کند. در یک بررسی کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهچه‌های خیار سبب بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و در گیاه گوجه فرنگی نیز سبب افزایش میزان مواد جامد محلول نسبت به شاهد گردید (Rezaie Allolo *et al*., 2018). کاربرد اسید سالیسیلیک همچنین باعث بهبود شاخص پایداری غشاء، عملکرد دستگاه فتوسنتزی، پتانسیل آب برگ و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کربنیک آنیدراز و نیترات ردوکتاز در گیاه گوجه فرنگی شد (Saheri *et al*., 2021). تیمار گابا باعث افزایش میزان پروتئین،

پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسایشی در گیاه زعفران شد. هم‌چنین در صورت کاربرد گابا نرخ فتوسنتز خالص در گیاه ذرت و نیز محتوای پرولین در فلفل سیاه افزایش یافت (Sedighi Moshkenani *et al*., 2020).

هدف از انجام این پژوهش بررسی تـأثیر غلظـت‌هـای مختلـف ترکیبـات گامـا آمینوبوتیریـک و سالیسـیلیک اسـید بـر خصوصـیات فیزیولوژیکی، مؤلفه‌های فتوسنتزی و خصوصیات کیفی نشاء محصول گوجه فرنگی رقم ’سیران‘ و معرفی بهترین غلظت این ترکیبات شـبه هورمونی و هورمونی در شرایط این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان با میانگین دمایی ۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. برقراری دما در طی روزهای تابستان و با میانگین حدود ۲۸ درجه سانتی‌گراد ممکن است تا حدودی به صورت واحدهای تنش گرمایی بسیار خفیف بر کشت گیاهچه‌های گوجه فرنگی رقم ’سیران‘ اثرگذار باشد. خاک مورد استفاده نمونه‌ای مرکب از چهار قسمت خاک الک شده و یکنواخت و همگن شامل؛ پرلیت، پیت موس و کود دامی به نسبت ۱:۱:۱:۱ بود. توده خاک تهیه شده به مدت یک هفته در معرض هوا قرار گرفت و هر روز چند بار مخلوط گردید تا به نسبت یکنواخت خشک شده و به رطوبت ثابتی دست یابد. بذور گوجه فرنگی رقم ’سیران‘ تهیه شده از مؤسسه بذر و نهال کرج، قبل از کاشت با قارچ کش ویتاواکس ۲ گرم بر لیتر ضدعفونی شدند. سپس در هر سلول سینی نشاء تعداد ۳ بذر کاشته شد و بعد از این که نشاها به مرحله سه تا چهار برگی رسیدند، به گلدان منتقل شده و به خوبی استقرار یافتند، سپس اولین محلول‌پاشی با کود کامل NPK ایدروفلورال پلاس با نسبت‌های ۱۸:۱۸:۱۸ که حاوی سایر ریزمغذی‌ها بود، انجام گرفت. تیمارهای کاربردی در این آزمایش شامل؛ گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید تهیه شده از شرکت سیگماآلدریچ بودند که در غلظت‌های مورد نظر با استفاده از آب مقطر محلول‌سازی صورت گرفت و محلول‌پاشی برگی انجام شد، پس از این که ۷۵ درصد گیاهچه‌ها به مرحله پنج برگی رسیدند، محلول‌پاشی تیمارها با گاما آمینوبوتیریک اسید با غلظت‌های صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و نیم ساعت بعد با سالیسیلیک اسید با غلظت‌های صفر، ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار انجام و پس از گذشت ۱۵ روز مراحل محلول‌پاشی دوم تیمارها تکرار شد. آبیاری نشاهای گوجه فرنگی هر دو روز یکبار و متناسب با مراحل رشد گیاهچه‌ها و به طور یکسان صورت گرفت. اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی نشاها انجام گرفت.

قطر ساقه گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی در مرحله هفت تا هشت برگی به‌وسیله کولیس اندازه‌گیری شد. برای تعیین پایداری غشاء سلولی در برگ و میزان نشت یونی از روش (Kumar & Dey, 2011) استفاده گردید. درصد محتوای نسبی آب برگ هم به روش رایج و از طریق فرمول ($RWC= F_w - D_w / S_w - D_w \times 100$) محاسبه شد (Galmes *et al*., 2007). برای سنجش میزان کلروفیل از روش (Lichtenthaler, 1987) استفاده گردید. عملکرد در بوته نیز با گذشت ۱۲۴ روز از کاشت بذور گوجه فرنگی رقم ’سیران‘ در شرایط گلخانه در اواخر رشد بوته‌ها، عملکرد بوته‌ها در مجموع پنج برداشت و چند مرحله توزین به تدریج یادداشت برداری و ثبت گردید. پارامترهای هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز خالص در برگ، با استفاده از برگ‌های کاملا توسعه یافته هفتم و هشتم پنج نمونه گیاهچه گوجه فرنگی از هر تیمار با موقعیت برگچه مشابه روی ساقه و با دستگاه کلروفیل فلوریمتر (مدل Hansatech LID Pocket) اندازه‌گیری شدند. برای سنجش آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز از روش (Chance & Maehly, 1955)، برای اندازه‌گیری پرولین برگ از روش (Bates *et al*., 1973) و برای تعیین غلظت مالون‌دی‌آلدئید از روش (Heath & Packer, 1969) استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری طبـق آزمـایش فاکتوریـل در قالـب طـرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. مقادیر میـانگین بـه روش چنـد دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسـه قـرار گرفتنـد. محاسبات تجزیه واریانس با نرم‌افـزار SAS (Version 9.1) صـورت پذیرفت.

نتایج و بحث

قطر ساقه نشاء

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده گابا و نیز اثر ساده سالیسیلیک اسید بر قطر ساقه نشاء در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین قطر ساقه نشاء در گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و با کاربرد توأم سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار و کمترین قطر در شرایط عدم استفاده از گابا و مصرف سالیسیلیک اسید به میزان ۰/۵ میلی‌مولار حاصل شد (جدول ۳). در گزارشی آمده که کاربرد اسید سالیسیلیک ۴۵ روز پس از سبز شدن نشاهای گوجه فرنگی تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای فتوسنتزی، پایداری غشاء سلولی، محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز داشته و توانسته آثار خشکی بر گیاه را کاهش دهد (Hayat *et al*., 2008). کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهچه‌های خیار باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شد (Rezaie Allolo *et al*., 2018).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی نشاء گوجه فرنگی

Table 1- ANOVA (mean square) for the effect of γ-aminobutyric acid and salicylic acid treatments on physiological traits of tomato seedlings

Source of variation S.O.V منابع تغییر	Df درجه آزادی	Mean of squares				
		قطر ساقه نشاء Seedling Stem Diameter	نشت یونی Ion Leakage	محتوای نسبی آب Relative Water Conten	کلروفیل کل Total Chlorophyll	عملکرد Yield
گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA)	2	0.76 **	113.85 **	153.77 **	73.55 **	295.54 **
سالیسیلیک اسید (SA)	2	0.58 *	146.62**	157.94 **	60.13 **	261.80 **
GABA× SA	4	0.12 **	9.91 *	31.05 **	22.45 *	8390.8 **
خطا Error	18	0.34	18.06	7.74	3.31	9.54
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	8.55	7.23	4.06	7.46	12.09

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، *معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری.

ns, * , **: Non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

نشت یونی

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده گابا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۱). بر طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین نشت یون‌ها در نمونه شاهد اتفاق افتاده است و کمترین میزان نشت یونی مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر گابا توأم با ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید می‌باشد (جدول ۳). به طور کلی می توان نتیجه گرفت که تیمار گابا می‌تواند با حفظ و نگهداری استحکام غشاء، باعث کاهش نشت یونی و مضرات آن در گیاه شود. گزارش شده که کاربرد تیمارهای گابا و کلسیم کلرید با حفظ استحکام غشاء، باعث کاهش درصد نشت یونی در گیاه برنج تحت تنش سرما شده است (Jia *et al*., 2017). همچنین استفاده از گاما آمینوبوتیریک اسید باعث کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید و نیز کاهش نشت یونی در میوه‌های موز نگهداری شده در انبار گردید (Wang *et al*., 2014). به نظر می‌رسد که سالیسیلیک اسید با القای مکانیزم‌های آنتی اکسیدانی سبب افزایش حفظ و یکپارچگی غشاء و عملکردهای غشاء می‌شود (Aftab *et al*., 2011). در گوجه فرنگی محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک باعث کاهش نشت یونی گردید. همچنین اسید سالیسیلیک با کاهش میزان تولید اتیلن و مهار آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی، میزان نرم شدن میوه را کاهش داد که مشابه این نتایج در کیوی نیز از طریق کاهش میزان نشت یونی گزارش شده است (Rezaei *et al*., 2020).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید بر صفات شیمیایی نشاء گوجه فرنگی

Table 2- ANOVA (mean square) of the effect of γ-aminobutyric acid and salicylic acid treatments on chemical traits of tomato seedlings

Source of variation S.O.V منابع تغییر	Df درجه آزادی	Mean of squares					
		Stomatal Conductance هدایت روزنه‌ای	Net Photosynthesis Rate نرخ فتوسنتز خالص	Catalase کاتالاز	Peroxidase پراکسیداز	Proline پرولین	Malon Di Aldehyde مالون‌دی‌آلدئید
GABA	2	198.1 **	143.81 **	1.09 *	0.0028 **	198.27	562.64 **
SA	2	203.30 **	131.26 **	3.45*	0.000022 *	202.44	2240.39 *
GABA× SA	4	0.659 *	12.063 *	8.067 *	0.00028 **	33.95	30219.83 *
Error	18	11.00	7.01	12.34	0.000004	23	7.25
C.V. (%)	-	6.41	3.53	8.11	5.2186	13.15	3.025

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، *معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری.

ns, * , **: Non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

محتوای نسبی آب

طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده گابا و سالیسیلیک اسید و نیز برهمکنش این دو در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد محتوای نسبی آب در تیمار توأم گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در بالاترین میزان خود بوده است و کمترین میزان این صفت در نمونه شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). کنترل محتوای نسبی آب در شرایط تنش‌زا بخشی از فرایند مقاومت به شمار می‌آید. نتایج این پژوهش نشان داد که گابا سبب افزایش میزان محتوای نسبی آب گردیده است. در گزارشی آمده است که پیش تیمار گیاه فلفل سیاه با گابا باعث افزایش مقاومت این گیاه در برابر تنش اسمزی شد و هم چنین سبب افزایش درصد رطوبت نسبی و کاهش بیشتر میزان پتانسیل سلولی گردید (Vijayakumari & Puthur, 2015). افزایش درصد محتوای نسبی آب توسط سالیسیلیک اسید و مشتقات آن می‌تواند به دلیل نقش سالیسیلیک اسید در افزایش قدرت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو، افزایش همبستگی و پایداری غشاء، تعدیل و تنظیم اسمزی از طریق افزایش مقدار پتاسیم به عنوان یون بسیار مهم در حفظ فشار تورژسانس سلولی باشد (Korkmaz *et al.*, 2007). محققان اظهار داشتند که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب بهبود محتوای نسبی آب در دانهال‌های ذرت هم در شرایط عادی و هم تحت تنش شوری شد (Efeoglu *et al.*, 2009). کاربرد تیمار توأم گابا و اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های توت فرنگی تحت تیمار را نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش داد و از طریق افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی، کاهش از دست‌دهی آب محصول و تأخیر در پیری را سبب شد (Rezaei *et al.*, 2020).

کلروفیل کل

براساس جدول تجزیه واریانس اثرات ساده گابا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی دار شده است (جدول ۱). بررسی نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن بود که غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر گابا در ترکیب با هر دو غلظت کاربردی سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار کلروفیل را دارا بوده که در مقایسه با شاهد افزایش ۲/۵ برابری داشته است (جدول ۳). کلروفیل a و b رنگیزه‌های نقش مهمی در فتوسنتز ایفا می‌کنند و تغییر در مقدار سیستم رنگیزه‌ای، تغییرات در فتوسنتز را مشخص می‌کند (Keshtehgar *et al.*, 2013). گزارش شده که گابا در غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر روی گیاه نخود سیاه، محتوای کلروفیل را افزایش داده است (Islam *et al.*, 2010). گابا با تأثیر بر کاهش تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن، از دستگاه فتوسنتزی و کلروفیل تحت شرایط تنش محافظت می‌کند و تخریب کلروفیل و پروتئین‌های دستگاه فتوسنتزی را کاهش می‌دهد (Vijayakumari & Puthur, 2015). در این تحقیق کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش کلروفیل گردید که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب افزایش بیشتر کلروفیل کل نسبت به عدم مصرف آن شده است. این واقعیت به خوبی به اثبات رسیده است که سالیسیلیک اسید پاسخ متابولیکی وسیعی در گیاهان ایجاد می‌کند و هم‌چنین پارامترهای فتوسنتزی و روابط آبی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محلول‌پاشی گیاه کلزا با غلظت سالیسیلیک اسید 10^{-5} مولار نیز به‌طور معنی‌داری مقدار کلروفیل را افزایش داد (Hayat *et al.*, 2010). در گیاه خرفه نیز اسید سالیسیلیک با تنظیم متابولیسم کلروفیل و بهبود متابولیسم پرولین، باعث افزایش محتوای کلروفیل کل و تجمع پرولین و در نتیجه بهبود کارایی دستگاه فتوسنتز و محتوای نسبی آب برگ گردید (Saheri *et al.*, 2021).

عملکرد میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل گابا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده افزایش دو برابری عملکرد در مقایسه با شاهد در صورت استفاده از ترکیب گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید می‌باشد (جدول ۳). کاربرد گابا در گیاهچه‌های برنج باعث افزایش قابل توجه رشد و سالم ماندن گیاهچه‌ها در تنش گرمایی شد که می‌تواند در ارتباط با اثر مثبت گابا در جلوگیری از صدمه دیدن غشاء، بهبود شرایط سلول، بهبود میزان کلروفیل، کارایی بهتر بیوشیمیایی ساقه و در نهایت افزایش عملکرد باشد (Nayyar *et al.*, 2014). تیمار بوته‌های خیار با اسید سالیسیلیک باعث افزایش دو برابری مقدار عملکرد در مقایسه با شاهد شد (Azarmi, 2018). تیمار گیاهان با اسید سالیسیلیک تقسیم سلولی را در مریستم رأس ریشه افزایش داده و رشد گیاه را بالا می‌برد (Shevyakova, 2003). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار روی گیاهان دارویی ریحان و مرزنجوش باعث افزایش ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن و عملکرد گردید (Fatma, 2007). کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه گوجه فرنگی با افزایش مقدار کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی، فعالیت آنزیم پراکسیداز، نرخ فتوسنتز و تعرق سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه شد (Ghanbari *et al.*, 2021).

جدول ۳- اثر متقابل گاما آمینوبوتیریک اسید ×سالیسیلیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیکی نشاء گوجه فرنگی

Table 3- The interaction effect of γ-aminobutyric acid ×salicylic acid on some physiological traits of tomato seedlings

Treatments تیمارها		قطر ساقه دانهال Seedling tem diameter (mm)	نشت یونی Ion Leakage (%)	محتوای نسبی آب Relative Water Content (%)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	عملکرد Yield (kg.m^{-2})
GABA (mg.l^{-1})	SA (mM)					
0	0	1.83 ^{d}	34.67 ^{a}	66.89 ^{cd}	15.49 ^{e}	17.54 ^{e}
	0.5	1.66 ^{e}	31.92 ^{b}	69.31 ^{c}	22.57 ^{d}	17.05 ^{e}
	1.5	1.96 ^{d}	30.64 ^{ab}	70.25 ^{c}	22.36 ^{d}	21.45 ^{d}
5	0	2.00 ^{c}	26.33 ^{b}	69.89 ^{c}	16.24 ^{d}	24.75 ^{c}
	0.5	2.10 ^{c}	26.60 ^{b}	71.30 ^{c}	29.55 ^{c}	27.11 ^{bc}
	1.5	2.33 ^{bc}	23.62 ^{c}	80.71 ^{ab}	30.20 ^{c}	27.86 ^{bc}
10	0	2.33 ^{bc}	11.08 ^{de}	85.67 ^{b}	35.06 ^{b}	28.50 ^{b}
	0.5	2.35 ^{bc}	11.67 ^{d}	86.01 ^{b}	39.31 ^{a}	34.18 ^{a}
	1.5	2.86 ^{a}	10.73 ^{e}	87.01 ^{a}	39.01 ^{a}	34.67 ^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means followed by at least one common letter, are not statistically different based on Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

هدایت روزنه‌ای برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده گابا و نیز اثر ساده سالیسیلیک اسید بر هدایت روزنه‌ای برگ در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای برگ در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در هر سه سطح کاربردی گابا مشاهده شده است (جدول ۴). مطالعات نشان داده که با اعمال تنش ابتدا هدایت روزنه‌ای، سپس رطوبت نسبی برگ و فتوسنتز کاهش می‌یابند (Khan *et al.*, 2015). سالسیلیک اسید با افزایش تجمع گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و غیرفعال‌سازی کانال یون پتاسیم سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود (Khokon *et al.*, 2011). کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهان آویشن سبب افزایش فتوسنتز، کارایی مزوفیل و کارایی استفاده از آب گردید. همچنین نسبت تعرق و هدایت روزنه‌ای با حضور سالیسیلیک اسید بهبود یافت که در این گزارش غلظت ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید مؤثر واقع شد (Najafian *et al.*, 2009).

نرخ فتوسنتز خالص

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر ساده گابا و همچنین اثر ساده سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد و برهمکنش این دو در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، تیمار کاربرد ترکیبی گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار دارای بالاترین نرخ فتوسنتز خالص بود (جدول ۴). اهمیت نرخ فتوسنتز خالص در این است که میزان فتوسنتز انجام شده توسط اندام‌های گیاهی می‌تواند سهم قابل ملاحظه‌ای در عملکرد محصول داشته باشد (Zeinali Pour & Aghebati, 2023). بیش از ۵۰ درصد نیتروژن برگ به سیستم فتوسنتزی وابسته است و روابط نزدیکی بین ظرفیت فتوسنتزی و مقدار نیتروژن برگ وجود دارد. گابا با مشارکت در چرخه کربس و تجمع مواد فتوسنتزی در گیاه باعث افزایش درصد ماده خشک گیاه از طریق افزایش فتوسنتز می‌شود (Pour Azar *et al.*, 2014). افزایش نرخ فتوسنتز خالص در گیاه ذرت با کاربرد گابا به‌صورت محلول‌پاشی

برگی مشاهده گردید (Sedighi Moshkenani *et al*., 2020). هم چنین سالیسیلیک اسید از طریق افزایش میزان فتوسنتز و کمک به جذب بهتر مواد غذایی باعث تحریک رشد و عملکرد بهتر گیاهان می شود (Gharib, 2007).

کاتالاز

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل گابا و سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). طبق نتایج به‌دست آمده از بررسی مقایسات میانگین، بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار توأم گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید رخ داده است و کمترین میزان این صفت در نمونه شاهد و عدم کاربرد گابا مشاهده گردید (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که گابا ممکن است فعالیت‌های آنتی اکسیدانی را تقویت کند تا از این طریق گونه‌های فعال اکسیژن را از بین ببرد. در گزارشی آمده است که گابا فعالیت‌های مختلف آنتی اکسیدان‌ها را برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در گیاه *Caragana intermedia* تغییر داد (Shi *et al*., 2010). کاربرد سالیسیلیک اسید نیز سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردید. از آن جایی که سالیسیلیک اسید سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود، می‌توان دلیل افزایش کاتالاز را مرتبط با این موضوع دانست. آنزیم کاتالاز مسئول حذف بخش عظیمی از مولکول‌های پراکسید هیدروژن (H_2O_2) است (Eyidogan & Tufanoz, 2007). غلظت بالا و سمی رادیکال‌های فعال اکسیژن باعث آسیب شدید به غشاء، ساختارهای پروتئینی و در نهایت مرگ ناگهانی سلول می‌گردد (Gill & Tuteja, 2010). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید سبب تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود که این فرایند همانند سازگار کردن گیاه می‌باشد زیرا افزایش سریع گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش اکسیداتیو باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه و حفظ گیاه در برابر خسارت‌های ناشی از تنش ها می‌شود (Horvath *et al*., 2007). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در میوه‌های هلو و زردآلو تیمار شده با اسید سالیسیلیک نیز مشاهده شد (Rezaei *et al*., 2020).

جدول ٤- اثر متقابل گاما آمینوبوتیریک اسید × سالیسیلیک اسید بر برخی صفات شیمیایی نشاء گوجه فرنگی

Table 4- The interaction effect of γ-aminobutyric acid ×salicylic acid on some chemical traits of tomato seedlings

Treatments تیمارها		Stomatal conductance هدایت روزنه‌ای (mol CO_2 $m^{-2}.s^{-1}$)	Net photosynthesis rate نرخ فتوسنتز خالص (μmol CO_2 $.m^{-2}.s^{-1}$)	Catalase کاتالاز ($unit.mg^{-1}$ FW)	Peroxidase پراکسیداز ($unit.mg^{-1}$ FW)	Proline پرولین ($μM.g^{-1}$ FW)	Malon di aldehyde مالون‌دی‌آلدئید ($μM.g^{-1}$ FW)
GABA ($mg.l^{-1}$)	SA (mM)						
0	0	0.16 [f]	14.03 [d]	2.02 [e]	48.21 [c]	42.50 [d]	1.94 [a]
	0.5	0.19 [e]	15.47 [cd]	2.06 [e]	45.10 [d]	43.70 [d]	1.89 [b]
	1.5	0.30 [a]	20.45 [b]	2.19 [e]	39.40 [f]	49.00 [c]	1.84 [c]
5	0	0.19 [de]	15.06 [c]	3.03 [d]	46.10 [cd]	52.30 [b]	1.11 [d]
	0.5	0.20 [d]	15.91 [cd]	4.34 [c]	48.00 [c]	52.20 [b]	1.08 [d]
	1.5	0.29 [ab]	20/24 [b]	4.18 [d]	49.52 [c]	54.90 [ab]	1.05 [d]
10	0	0.17 [ef]	15.96 [d]	5.03 [b]	52.12 [b]	58.50 [a]	1.10 [d]
	0.5	0.29 [ab]	16.31 [c]	5.05 [b]	52.25 [b]	59.70 [a]	0.84 [f]
	1.5	0.31 [a]	21/04 [a]	5.39 [a]	56.40 [a]	59.70 [a]	0.93 [e]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means followed by at least one common letter, are not statistically different based on Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثر ساده گابا و نیز برهمکنش گابا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد معنی‌دار است و اثر ساده سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار توأم گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود است (جدول ۴). نتایج نشان‌دهنده آن است که گابا و سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت پراکسیداز در گوجه فرنگی شدند. توانایی گابا در مهار کردن گونه‌های آزاد اکسیژن به‌طور قابل توجهی بالا است که این نشان می‌دهد که گابا به‌عنوان یک اسمولیت بسیار مؤثر، نقش مهمی در کاهش گونه‌های فعال اکسیژن دارد (Liu *et al*., 2011). با توجه به این که پراکسیداز به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان آنزیمی عمل می‌کند، می‌توان گفت سالیسیلیک اسید با فعال کردن سیستم آنتی‌اکسیدانی سبب از بین رفتن رادیکال‌های آزاد می‌شود (Gao *et al*., 2010). در مطالعه‌ای که روی گیاه فلفل سیاه انجام شده بود، پیش تیمار این گیاه با گابا باعث افزایش مقاومت در برابر تنش اسمزی و افزایش رطوبت نسبی شد و میزان فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدانی شبیه گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاهچه‌های پیش تیمار شده با گابا بیشتر بود (Vijayakumari & Puthur, 2015). از طرف دیگر محققان اظهار داشتند که تیمار سالیسیلیک اسید با تنظیم اجزای مهم آنزیمی و غیر آنزیمی شبکه آنتی‌اکسیدانی گیاه، منجر به تحمل تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود (Alam *et al*., 2013)). بهبود فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدان در انجیر کوهی در اثر تیمار کائولین و سالیسیلیک اسید گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Brito *et al*., 2018).

پرولین

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده و متقابل گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید بر صفت پرولین معنی‌دار نشد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن بود که بالاترین میزان تجمع پرولین در ترکیب تیمار گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه هر یک از سه غلظت سالیسیلیک اسید رخ داده است (جدول ۴). پرولین به دلیل محافظت غشای تیلاکوئید از آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) اهمیت دارد. گزارش‌های متعددی نشان داده‌اند که پرولین محافظ آنزیم و غشاء بوده و هم‌چنین یک ساختار داخلی سلول و یک منبعی از کربن و نیتروژن برای بازیافت سریع در شرایط تنش می‌باشد (Hussein *et al*., 2006). در گیاه توتون (*Nicotiana rustica*)، گابا در مقایسه با پرولین توانایی بیشتری در از بین بردن هیدروژن پراکسیداز در شرایط تنش آبی دارد (Liu *et al*., 2011). تیمار گابا سبب افزایش میزان پروتئین، پرولین، مالون دی‌آلدئید و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسایشی در گیاه زعفران شد (Sedighi Moshkenani *et al*., 2020). کاربرد گابا در غلظت ۲۰ میلی‌مولار در میوه موز باعث تجمع پرولین و افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی شد (Rezaei *et al*., 2020).

مالون‌دی‌آلدئید

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده گابا در سطح یک درصد و اثر ساده سالیسیلیک اسید و نیز اثر متقابل این دو در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). طبق نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین، بیشترین تجمع مالون‌دی‌آلدئید در نمونه شاهد (عدم کاربرد گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید) مشاهده شد و کمترین مقدار این صفت در تیمار توأم گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر با سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار حاصل شد (جدول ۴). در گزارشی آمده است که گابا از صدمات اکسیداتیو در دانهال‌های جو به‌وسیله فعال کردن پاسخ‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانت و کاهش سطوح بالایی از کربونیلات‌های پروتئینی ناشی از رادیکال‌های آزاد جلوگیری کرده است. هم‌چنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و میزان مالون‌دی‌آلدئید و تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن را نیز کاهش داده است. اثر حفاظتی گابا بر یکپارچگی غشاء با کنترل پراکسیداسیون لیپید نیز مشاهده شد (Song *et al*., 2010). گیاهان چند ساله چچم (*Lolium persicum*) تیمار شده با گابا در معرض تنش خشکی دارای میزان کمتری از مالون‌دی‌آلدئید در مقایسه با گیاهان شاهد بودند (Krishnan *et al*., 2013). گابا نقش مولکول سیگنالینگ در غلظت‌های پایین داشته و در غلظت‌های بالاتر در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، متابولیکی، متابولیسم نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، تنظیم اسمزی و حفاظت گیاهان در برابر آسیب های اکسیداتیو نقش دارد (Bouche's & Fromm, 2004). گابا در دانهال‌های گوجه فرنگی که تحت تنش سرما قرار گرفته بودند، سبب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید شد (Malekzadeh *et al*., 2014). در این پژوهش کاربرد سالیسیلیک اسید سبب کاهش میزان مالون‌دی آلدئید برگ شد که مشابه این نتایج در گیاه خرفه نیز گزارش شده است (Yazici *et al*., 2007).

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد گاما آمینوبوتیریک اسید به عنوان یک ترکیب زیستی و سالیسیلیک اسید به عنوان یک تنظیم کننده رشد، اثر مثبتی در صفات مورد مطالعه در نشاء گوجه فرنگی رقم 'سیران' داشت و سبب افزایش قطر نشاء، محتوای آب،

کلروفیل کل، عملکرد، پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و کاهش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید گردید. بـه نظـر مـی‌رسـد کـه بالاترین غلظت کاربردی گابا در این پژوهش (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) و نیز بیشترین غلظت سالیسیلیک اسید (۱/۵ میلی‌مولار) بهترین نتایج را به همراه داشت و سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و کیفی نشـاء گوجه فرنگی 'سیران' و نیز حفظ بهتر عملکرد نهایی محصول شد.

References

1. Abbaszadeh, B. (2005). *Effect of different levels and methods of nitrogen fertilizer application on the amount of lemon balm essential oil*. Master Thesis, Islamic Azad University, Karaj Branch. (In Persian). http://doi.org/10.22067/jag.v6i3.43405
2. Aftab, T., Masroor, M., Khan, A., Teixeira Da Silva, J.A., Idrees, M., Naeem, M., & Moinuddin, M. (2011). Role of salicylic acid in promoting salt stress tolerance and enhanced artemisinin production in *Artemisia annua* L. *Journal of Plant Growth Regulation, 30*(1), 425-435. http://doi.org/10.1007/s00344-011-9205-0
3. Alam, M.M., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Exogenous salicylic acid ameliorates short term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Australian Journal of Crop Sciences, 7*(1), 1053-1063.
4. Azarmi, R. (2018). Effect of salicylic acid on some vegetative and biochemical properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under copper stress. *Journal of Plant Process and Function, 9*(33), 15-27. (In Persian with English abstract)
5. Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil, 39*(1), 205-207. http://doi.org/10.1007/BF00018060
6. Bouche's, N., & Fromm, H. (2004). GABA in plants, Just a metabolite. *Trends in Plant Science, 9*(1), 110-115. http://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.01.006
7. Brito, C., Dinis, L.T., Silva, E., Gonçalves, A., Matos, C., Rodrigues, M.A., & Correia, C. (2018). Kaolin and salicylic acid foliar application modulate yield, quality and phytochemical composition of olive pulp and oil from rainfed trees. *Journal of Scientia Horticulturae, 237*(1), 176-183. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.019
8. Chance, B., & Maehly, A.C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Journal of Methods in Enzymology, 2*(1), 764-775. http://doi.org/10.1002/9780470110171.ch14
9. De Oliveira Silva, F.M., Lichtenstein, G., Alseekh, S., Rosado Souza, L., Conte, M., Suguiyama, V.F., Lira, B.S., Fanourakis, D., Usadel, B., Bhering, L.L., Da Matta, F.M., Sulpice, R., Araujo, W.L., Rossi, M., De Setta, N., Fernie, A.R., Carrari, F., & Nunes Nesi, A. (2018). The genetic architecture of photosynthesis and plant growth related traits in tomato. *Journal of Plant, Cell and Environment, 41*(1), 327-341. http://doi.org/10.1111/pce.13084
10. Efeoglu, B., Ekmekci, Y., & Cicek, N. (2009). Physiological responses of three maize cultivars to drought. *Journal of Phytotherapy Research, 16*(3), 240-244. http://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.06.005
11. Eyidogan, F., & Tufanoz, M. (2007). Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings. *Journal of Acta Physiologia Plantarum, 29*(1), 485-493. http://doi.org/10.1007/s11738-007-0059-9
12. Fatma, A.G. (2007). Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *Journal of Agricultural Biological, 1560*(98530), 294-301.
13. Galmes, J., Flexas, J., Save, R., & Medrano, H. (2007). Water relations and stomatal characteristics of mediterranean plants with different gowth forms and leaf habits, responses to water stress and recovery. *Journal of Plant Soil, 290*(4), 139-155. http://doi.org/10.1007/s11104-006-9148-6
14. Gao, C., Wang, Y., Liu, G., Wang, C., Jiang, J., & Yang, C. (2010). Cloning of ten peroxidase (POD) genes from *Tamarix hispida* and characterization of their responses to abiotic stress. *Journal of Plant Molocular and Biological Reporat, 28*(1), 77-89. http://doi.org/10.1007/s11105-009-0129-9
15. Ghanbari, F., Saidi, M., Akbari, S., & Gravand, S. (2021). The effect of salicylic acid and kaolin on the growth, yield and some physiological responses of tomatoes under different irrigation cycles. *Journal of Plant Process and Function, 10*(44), 219-234. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.24326/asphc.2022.3.12
16. Gharib, F.A.E. (2007). Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *Intarnational Journal of Agriculture and Biology, 9*(2), 294-301.
17. Gill, S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plant. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 48*(12), 909-30. http://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016
18. Hayat, Q., Hayat, Sh., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment, a review. *Journal of Environmental and Experimental Botany, 68*(1), 14-25. http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005
19. Hayat, S., Hasan, S.A., Fariduddin, Q., & Ahmad, A. (2008). Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions, 3*(1), 297-304. http://doi.org/10.1080/17429140802320797
20. Heath, R.L., & Packer, L. (1969). Photoperoxidation in isolated chloroplast, kinetics and stoichiometry of fatty

acid peroxidation. *Journal of Biochemistry and Biophysiology*, *125*(1), 189-198. http://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

21. Horvath, E., Szalai, G., & Janda, T. (2007). Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant growth Regulation*, *26*(1), 290-300. http://doi.org/10.1007/s00344-007-9017-4
22. https://www.fao.org/worldfoodsituation. (food and agriculture organization of the united nations).
23. Hussein, M.M., El-Gereadly, N.H.M., & El-Desuki, M. (2006). Role of putrescine in resistance to salinity of pea plants (*Pisum sativum* L.). *Research Journal of Applied Sciences*, *2*(9), 598-604.
24. Islam, M.R., Prodhan, A.K.M.A., Islam, M.O., & Uddin, M.K. (2010). Effect of plant growth regulator (GABA) on morphological characters and yield of black gram (*Vigna mungo* L.). *Journal of Agriculture Research*, *48*(1), 76-77.
25. Jia, Y., Zou, D., Wang, J., Sha, H., Liu, H., Inayat, M., & Zhao, H. (2017). Effects of γ-aminobutyric acid, glutamic acid, and calcium chloride on rice (*Oryza sativa* L.) under cold stress during the Early vegetative stage. *Journal of Plant Growth Regulation*, *36*(1), 240-253. http://doi.org/10.1007/s00344-016-9634-x
26. Karlidag, H., Esitken, A., Turan, M., & Sahin, F. (2007). Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of apple. *Journal of Scientia Horticulture*, *114*(1), 16-20. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.04.013
27. Keshtehgar, A., Rigi, K., & Vazirimehr, M.R. (2013). Effects of salt stress in crop plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *5*(23), 2863-2867.
28. Khan, M.I.R., Fatma, M., Per, T.S., Anjum, N.A., & Khan, N.A. (2015). Salicylic acid induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Journal of Frontiers in Plant Science*, *6*(1), 462-468. http://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462
29. Khokon, M.A.R., Okuma, E.I.J.I., Hossain, M.A., Munemasa, S., Uraji, M., Nakamura, Y., & Murata, Y. (2011). Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acid induced stomatal closure in arabidopsis. *Journal of Plant, Cell and Environment*, *34*(1), 434-443. http://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02253.x
30. Korkmaz, A., Uzunlu, M., & Demirkairan, A.R. (2007). Treatment with acetylsalicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. *Journal of Acta Physiologia Plantarum*, *29*(1), 503-508. http://doi.org/10.1007/s11738-007-0060-3
31. Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V., & Merewitz, E. (2013). Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non protein amino acid γ-aminobutyric acid on perennial ryegrass. *Journal of Plant, Soil, and Microbial Sciences*, *138*(5), 358-366. http://doi.org/10.21273/JASHS.138.5.358
32. Kumar, S., & Dey, P. (2011). Effects of different mulches and irrigation methods on root growth, nutrient uptake, water use efficiency and yield of strawberry. *Journal of Scientia Horticulturae*, *127*(3), 318-324. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.023
33. Li, E., Luo, X., Liao, S., Shen, W., Li, Q., Liu, F., & Zou, Y. (2018). Accumulation of γ-aminobutyric acid during cold storage in mulberry leaves. *International Journal of Food Science and Technology*, *53*(1), 2664-2672. http://doi.org/10.1111/ijfs.13875
34. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids, pigments of photosynthetic biomembranes. *Journal of Methods in Enzymology*, *148*(34), 350-382. http://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1
35. Liu, C.L., Zhao, L., & Yu, G.H. (2011). The dominant glutamic acid metabolic flux to produce γ-aminobutyric acid (GABA) over proline in *Nicotiana tabacum* leaves under water stress relates to its significant role in antioxidant activity. *Journal of Integrative Plant Biology*, *53*(1), 608-618. http://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2011.01049.x
36. Malekzadeh, P., Khara, J., & Heydari, R. (2014). Alleviating effects of exogenous γ-aminobutiric acid on tomato seedling under chilling stress. *Journal of Physiology and Molecular Biology of Plants*, *20*(1), 133-137. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.1007/s12298-013-0203-5
37. Najafian, Sh., Khosh Khui, M., Tavallali, V., & Saharkhiz, M.J. (2009). Effect of salicylic acid and salinity in thyme (*Thymus Vulgaris*), investigation on changes in gas exchange, water relations, and membrane stabilization and biomass accumulation *Australian Journal of Basic and Applied Science*, *3*(3), 2620-2626.
38. Nakamura, A., Itaki, C., Saito, A., Yonezawa, T., Aizawa, K., Hirai, A., Suganuma, H., Miura, T., Mariya, Y., & Haghdoost, S. (2017). Possible benefits of tomato juice consumption, a pilot the study on irradiated human lymphocytes from the healthy donors. *Journal of Nutrition*, *16*(1), 27-35. http://doi.org/10.1186/s12937-017-0248-3
39. Nayyar, H., Kaur, R., Kaur, Simranjit., & Singh, R. (2014). γ-aminobutyric acid imparts partial protection from heat stress injury to rice seedlings by improving leaf turgor and upregulating osmoprotectans and antioxidants. *Journal of Plant Growth Regulation*, *33*(1), 408-419. http://doi.org/10.1007/s00344-013-9389-6
40. Ouda, B.A., & Mahahadeem, A.Y. (2008). Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (*Brassica oleracea* var. italica). *Intarnational Journal of Agriculture and Biology*, *10*(1), 627-632.
41. Peyvast, Gh. (2009). *Vegetable production*. Danesh pazir press, 579. (In Persian). http://doi.org/10.1007/s00344-

013-9389-6
42. Pinela, J., Oliveira, M.B.P.P., & Ferreira, I.C.F.R. (2016). Bioactive compounds of tomatoes as health promoters. *In natural bioactive compounds from fruits and vegetables part II, Bentham science publishers*, 48-91. http://doi.org/10.2174/9781681082431116010006
43. Pour Azar, M.R., Tabatabaei, J., & Boland Nazar, S. (2014). The effect of injection of carbon dioxide (Co_2) to root environment on growth and accumulation of nitrate in two lettuce varieties of screw and oven (*Lactuca sativa* L. cv. Capitata and sativa). *Journal of Horticultural Science, 28*(3), 295-302. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.42733
44. Rai, A.C., Singh, M., & Shah, K. (2013). Engineering drought tolerance tomato plants over expressing $BcZAt_{12}$ gene encoding a C_2H_2 zinc finger transcription factor. *Journal of Phytochemistry, 85*(1), 44-50. http://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.09.007
45. Rezaei, A., Seyed Hajizadeh, H., Farokhzad, A., & Gholizadeh Vakilkandi, F. (2020). Effect of postharvest treatments of GABA and salicylic acid in antioxidant quality and marketability of Strawberry. *Journal of Plant Process and Fnction, 9*(38), 114-127. (In Persian with English abstract)
46. Rezaie Allolo, A., Kheiry, A., Sanikhani, M., & Araghavani, M. (2018). Effect of salicylic acid, glycine betaine and gamma amino butyric acid as foliar application on physiological indices of bitter melon (*Momordica charantia* L.) under water deficit stress. *Journal of Plant Process and Function, 8*(33), 359-371. (In Persian with English abstract)
47. Saheri, F., Barzin, G., Pishkar, L., Mashhadi Akbar Boojar, M., & Babaeekhou, L. (2021). The effect of salicylic acid under drought stress on some physiological and biochemical traits of (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of plant process and function, 11*(47): 283-299. (In Persian with English abstract)
48. Salimi, A., Arashi, A., & Chavoshi, M. (2021). Investigating the effect of gallic acid on the growth of Jaliz flower and the activity of antioxidant enzymes in tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of Plant Process and Function, 10*(42), 147-159. (In Persian with English abstract)
49. Samih, M.A., Taleb, R.A., Alzubi, Y.A., Ammari, T., & Tahboub, A.B. (2010). Nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.) tissues under different fertilization regimes. *Journal of Food Agriculture Environment, 8*(2), 778-780.
50. Sedighi Moshkenani, F., Niknam, V., Sharifi, G., & Seifi Kalhor, M. (2020). An investigation of GABA effect on drought stress tolerance improvement in cultivated saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Plant Process and Function, 9*(39), 29-50. (In Persian with English abstract)
51. Senaranta, T., Teuchell, D., Bumm, E., & Dixon, K. (2002). Acetyl salicylic acid (asprin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomatoplants. *Journal of Plant Growth Regulation, 30*(1), 157-161. http://doi.org/10.1023/A:1006386800974
52. Shata, S.M., Mahmoud, A., & Siam, S. (2007). Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. *Research Journal of Agriculture and Biology Sciences, 3*(6), 733-739.
53. Shelp, B.J., Bozzo, G.G., Trobacher, C.P., Chiu, G., & Bajwa, V.S. (2012). Strategies and tools for studying the metabolism and function of γ-aminobutyrate in plants. *Pathway Structure of Botany, 90*(1), 651-668. http://doi.org/10.1139/b2012-030
54. Shevyakova, N.I. (2003). Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress. *Journal of Plant Physiology, 30*(1), 597-608. http://doi.org/10.4161/psb.21949
55. Shi, S.Q., Shi, Z., Jiang, Z.P., Qi, L.W., Sun, X.M., & Li, C.X. (2010). Effects of exogenous GABA on gene expression of *Caragana intermedia* roots under NaCl stress, regulatory roles for H_2O_2 and ethylene production. *Journal of Plant, Cell and Environment, 33*(2), 149-162. http://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02065.x
56. Song, H., Xu, X., Hua, W., Wang, H., & Tao, Y. (2010). Exogenous γ-aminobutyric acid alleviates oxidative damage caused by aluminium and proton stresses on barley seedlings. *Journal of Food Agriculture Science, 90*(1), 1410-1416. http://doi.org/10.1002/jsfa.3951
57. Suri, M., & Yaqoubi, F. (2017). Investigating the physiological characteristics of tomato seedlings under the influence of chemical and organic fertilizers. *Journal of science and techniques of greenhouse crops, 8*(4): 67-76. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.29252/ejgcst.8.4.67
58. Vijayakumari, K., & Puthur, T. (2015). γ-aminobutyric acid (GABA) priming enhances the osmotic stress tolerance in *Piper nigrum* L. plants subjected to PEG induced stress. *Journal of Plant Growth Regulation, 24*(6), 102-115. http://doi.org/10.1007/s10725-015-0074-6
59. Wang, Y., Luo, Z., & Huang, H. (2014). Effect of exogenouse γ-aminobutyric acid (GABA) treatment on chiling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Journal of Scientia Horticulturae, 168*(1), 132-137. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.022
60. Yang, C.M., Yang, L.Z., Yang, Y.X., & Zhu, O.Y. (2004). Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. *Journal of Agricultural Water Management, 70*(1), 67-81. http://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.05.003
61. Yazici, I., Turkan, I., Sekmen, A.H., & Demiral, T. (2007). Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleraceae*

L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, *61*(1), 49-57. http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.02.010

62. Zeinali Pour, N., & Aghebati, F. (2023). Study the changes of some water relations and net photosynthesis of three Iranian melon population (*Cucumis melo*) under water deficit stress. *Journal of Horticultural Science*, *37*(2), 577-588. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhs.2022.78942.1196